

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah

Tubuh tanaman sebagian besar terdiri atas tiga unsur, yaitu C 43,6%, O 44,4% dan H 6,2%. Unsur-unsur ini diambilnya dari udara berupa CO_2 dan O_2 serta dari tanah berupa H_2O . Tanaman tak mungkin hidup dengan ketiga unsur ini saja, tetapi memerlukan unsur-unsur lain yang sangat penting untuk pembentukan bermacam-macam protein, zat lemak dan zat-zat organik lainnya. Adapun unsur-unsur yang hampir selalu ada di dalam tiap tanaman (makro elemen) ialah C,H,O,N,S,P,K,Ca,Mg,Fe sedang unsur-unsur yang ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil (mikro elemen) ialah Zn,Mn,Cu,B,Mo,Si dan Al (Dwidjoseputro, 1992).

Menurut Anonim (1985) unsur-unsur esensial maupun non esensial dapat menimbulkan gangguan bila terdapat dalam jumlah besar dan secara biologis unsur-unsur tersebut dapat ditransformasikan dari bentuk anorganik ke dalam bentuk organik yang toksisitasnya lebih tinggi, jika hal ini masuk ke dalam lingkungan perairan akan menimbulkan pencemaran air. Pencemaran air yang terjadi di Indonesia ditimbulkan oleh limbah domestik, limbah industri tekstil dan lainnya.

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi (Gintings, 1992). Limbah yang merupakan efek samping dari sektor industri

dan pertanian dapat berupa limbah padat (solid wastes), limbah cair (liquid wastes), maupun limbah gas (gaseous wastes) (Sugiharta, 1987). Apabila limbah masuk ke dalam lingkungan, ada beberapa kemungkinan yang diciptakan. Kemungkinan pertama, lingkungan tidak mendapat pengaruh yang berarti; kedua, ada pengaruh perubahan tapi tidak menyebabkan pencemaran; ketiga, memberi perubahan dan menimbulkan pencemaran (Gintings, 1992).

Menurut Undang-undang Lingkungan hidup nomor 4 tahun 1992 pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Salah satu bentuk pencemaran lingkungan adalah pencemaran air sungai oleh buangan limbah industri dan domestik.

Pada umumnya air limbah industri yang dapat menyebabkan pencemaran air ialah yang berasal dari industri-industri yang dalam proses produksinya menggunakan bahan-bahan kimia. Komposisi limbah industri dapat merupakan suatu campuran yang kompleks mengandung bahan kimia organik dan anorganik, dan dapat pula hanya terdiri dari suatu persenyawaan (Anonim, 1985).

Salah satu jenis industri yang banyak menggunakan air adalah industri tekstil. Karakter air buangan industri tekstil menurut Anonim (1987) antara lain karakter fisik :

(1) mengandung padatan tersuspensi, koloid maupun terlarut dalam jumlah tinggi, (2) warna pekat, (3) suhu tinggi, dan (4) kadang-kadang karakter berbau; karakter kimia : (1) nilai BOD, COD, dan pH tinggi, (2) mengandung senyawa anorganik sehingga sifat buangan bisa menjadi alkali, asam, atau netral dengan kadar elektrolit tinggi, (3) mengandung senyawa organik seperti karbohidrat, protein, lemak dan minyak.

Masih banyak industri tekstil yang belum memiliki kolam pengolah air limbah. Kalaupun ada hanya kolam sederhana tempat menampung limbah cair dari seluruh kawasan pabrik. Biasanya limbah yang belum diolah langsung dibuang ke sungai. Sehingga bukan pemandangan aneh apabila air sungai di sekitar pabrik, seringkali berubah-ubah warna tergantung warna bahan pencelup yang digunakan oleh industri di sekitarnya. Oleh karena itu, sebelum dibuang ke perairan bebas, limbah industri tekstil harus diolah sehingga memenuhi persyaratan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh pemerintah (Anonim, 1986).

Pengolahan air limbah secara biologis dengan memanfaatkan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) sebagai pengendali pencemaran terutama penyerapan logam berat, seperti halnya Siregar pada tahun 1983 dalam Anonim (1984), menggunakan 12 kolam berukuran $6 \times 6 \text{ m}^2$, berisi limbah dari 50 pabrik tekstil. Enam kolam ditanami eceng gondok, yang lainnya tidak. Penelitian ini membuktikan bahwa eceng gondok mampu menyerap dan menimbun

logam yang berbahaya bagi kesehatan manusia, seperti Cr (9,4%), Cu (29%), Zn (26,7%) serta nitrogen (52%).

B. Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

Klasifikasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menurut Hegelmaier (1984) yang dikutip oleh Lawrence (1951) adalah sebagai berikut :

Divisio : Spermatophyta
 Classis : Monocotyledoneae
 Ordo : Liliales
 Familia : Pontederiaceae
 Genus : *Eichhornia*
 Species : *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms
 Nama Daerah : Bengok, Eceng gondok

Tumbuhan Eceng gondok terkenal di Indonesia karena seringnya mengganggu perairan baik pada danau, sungai atau waduk-waduk buatan. tumbuhan ini hidup sebagai herba yang mengapung di atas air, mudah bertunas, tingginya dapat mencapai 40-80 cm, daun panjang 7-25 cm, berasal dari Brasilia dan didatangkan di Indonesia pada tahun 1894 sebagai koleksi tanaman di Kebun Raya Bogor (Steenis *et al.*, 1981).

Akar eceng gondok mempunyai rambut berjumlah banyak sesuai dengan fungsinya, yakni untuk menyerap zat-zat hara yang terlarut dalam air. Batangnya sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan dengan jaringan palisade yang berupa

jaringan bunga karang berfungsi sebagai rongga udara. Permukaan daun dilapisi oleh zat lilin sebagai pelindung terhadap kemelimpahan air dalam habitatnya. Pada daun dan tangkai daun dapat melaksanakan fotosintesis karena adanya klorofil, demikian juga respirasi (Douberwine, 1974., Weaver, 1989).

Menurut Slamet dan Sukowati (1975), pertumbuhan massal eceng gondok sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti kandungan zat hara dan pH air, cahaya matahari dan interaksi antara faktor-faktor itu satu dengan yang lainnya. Pemberian kadar N, P dan K yang berbeda-beda memberikan respon terhadap pertumbuhan eceng gondok, dan penyerapan unsur-unsur ini dipengaruhi juga oleh pH larutan. Penyerapan N dan K oleh eceng gondok lebih baik pada pH tinggi (7,5), sedang penyerapan P lebih baik pada pH relatif rendah (4,0). Santiago dalam Slamet dkk., (1975) menyatakan bahwa eceng gondok pada pH 7 - 7,5 akan tumbuh lebih baik daripada pH rendah (4,0) atau pH tinggi (8,0).

Eceng gondok memerlukan cahaya matahari yang cukup serta suhu yang optimum (25 - 30°C) untuk pertumbuhan yang optimum. Perbedaan intensitas cahaya memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah daun, berat basah dan berat kering eceng gondok. Pada eceng gondok yang tumbuh dengan mendapat cahaya matahari yang penuh pertumbuhannya lebih baik jika dibandingkan dengan eceng gondok yang mendapat cahaya kurang (Slamet dan Sukowati, 1975).

Beberapa penelitian di Bogor menunjukkan bahwa pertumbuhan eceng gondok relatif cepat. Hal ini dapat dilihat pada pertambahan jumlah daun, berat basah dan berat kering per hari, yaitu sebesar 7,5 - 12,5., 13,8 dan 17,4% (Santiago, 1973., Djalil, 1974., Soerjani dan Widyanto, 1974).

Menurut Widyanto (1975) menunjukkan suatu analisa terhadap air buangan dari 4 pabrik tekstil diperoleh kenyataan bahwa dua di antara pabrik-pabrik itu air buangannya mengandung bahan padat terlarut lebih tinggi (1.185 dan 1.204 mg/l) daripada kadar yang diperbolehkan (1.000 mg/l) bagi air minum dan perairan. Kadar sulfat air buangan salah satu pabrik ini cukup tinggi (718,8 mg/l) sehingga eceng gondok yang ditanam di air buangan yang pekat dan diencerkan sampai 1/2-nya mati setelah 5 hari. Air buangan pabrik tekstil yang lain (R) yang diencerkan sampai 1/2-nya ternyata memacu pertumbuhan eceng gondok yang ditanam selama 10 hari. Pemacuan pertumbuhan terlihat dalam hal berat basah, berat kering dan jumlah daun.

C. Aktivitas Nitrat Reduktase (ANR)

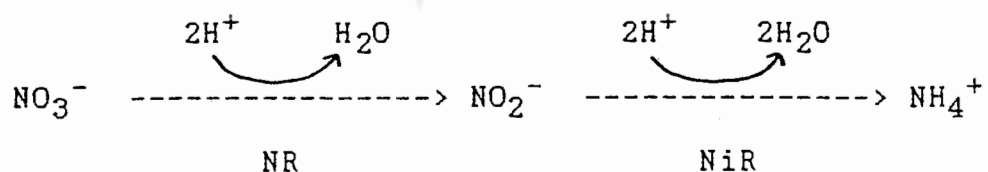
Salah satu unsur yang dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman adalah nitrogen. Nitrogen merupakan salah satu elemen esensial yang diperlukan tanaman untuk menyusun asam amino, protein, asam nukleat, basa organik, enzim dan klorofil (Bidwell, 1979., Fritz dan Noggle, 1979). Sebagian besar tanaman menyerap unsur N dalam bentuk ion nitrat, ion ammonium, senyawa organik

seperti asam amino dan urea dari dalam tanah. Nitrat merupakan senyawa nitrogen yang paling besar ketersediaannya dan paling mudah diserap oleh akar (Bidwell, 1979).

Nitrogen organik dalam tanah terdapat dalam bentuk gas dan juga dalam bentuk ion. Nitrat dan nitrit terdapat dalam bentuk ion bebas, sedangkan amonium dalam keadaan tidak dapat ditukar (Black, 1973). Ion amonium dan ion nitrat yang terdapat dalam tanah berasal dari fixasi nitrogen secara biologis, hasil pemupukan yang dilakukan oleh manusia, hasil proses pembusukan oleh bahan organik dan hasil fixasi dari atmosfer yang diserap oleh akar tanaman (Epstein, 1978).

Di dalam jaringan tanaman, nitrat direduksi menjadi nitrit yang kemudian akan segera berubah menjadi amonium. Amonium merupakan sumber N-organik untuk membentuk asam amino, protein dan senyawa N lainnya yang digunakan sebagai bahan untuk mensintesis komponen sel (Devlin, 1975).

Proses reduksi nitrat menjadi nitrit dan berubah menjadi amonium merupakan reaksi awal dari metabolisme nitrogen tanaman (Noggle, 1979). Reaksi reduksi tersebut dikatalisir oleh enzim NR (Bidwell, 1979). Menurut Lovelless (1991), reduksi nitrat menjadi amonia di dalam tumbuhan terjadi dalam tiga tahap menurut jalur berikut:



Proses reduksi nitrit menjadi ammonium dikatalisir oleh nitrit reduktase dan terbentuk hasil antara seperti nitrit oxid, hidroksi amine yang akan segera berubah menjadi ammonium. Energi pereduksi didapat dari reaksi fotosintesis berupa ferredoksin (Noggle, 1979).

Proses reduksi nitrat oleh tumbuhan dapat terjadi di akar dan daun (Noggle, 1979), kuncup daun dan tunas batang (Bidwell, 1979). ANR terbesar terjadi di daun yang telah berkembang penuh, tidak terlalu tua dan tidak terlalu muda. Mengenai letak enzim NR itu sendiri ada beberapa pendapat, antara lain menurut Noggle dan Fritz (1979) dikatakan bahwa NR terletak dalam sitoplasma. Guerrero *et al.*, (1981) menyebutkan bahwa NR terletak pada dinding luar kloroplas dan di dalam kloroplas tidak pernah dijumpai nitrat reduktase. Diduga bahwa NR terletak pada membran sel, dinding luar kloroplas, apparatus golgi dan plasma sel (Hartiko, 1983).

Enzim NR merupakan kunci pertama bagi sintesis senyawa-senyawa nitrogen yang mempunyai aspek penting bagi siklus hidup suatu tumbuhan. Enzim ini merupakan enzim kompleks dengan berat molekul antara 230.000 sampai 500.000 tergantung organismenya. ANR dipengaruhi oleh banyak faktor yang satu dengan lainnya saling terkait. Faktor-faktor tersebut dapat dibagi menjadi dua yaitu faktor luar dan faktor dalam (Hartiko, 1983).

Faktor dalam meliputi umur, jenis, hormon, energi pereduksi, struktur anatomi daun dan lainnya. Srivastava

(1975) menyebutkan bahwa tingkat pertumbuhan tanaman mempengaruhi ANR. Dikatakan pula bahwa ANR pada umur kecambah adalah rendah dan meningkat selaras dengan bertambahnya umur tanaman mencapai umur masak (dewasa) dan kemudian turun lagi bila tanaman mengalami penuaan. Adanya inhibitor yang mengganggu proses fotosintesis maupun respirasi juga akan menghambat ANR yang disebabkan oleh karena energi pereduksi yang dibutuhkan untuk aktivitas enzim terganggu pembentukannya. Selain itu adanya reaksi metabolisme lain yang menggunakan energi pereduksi NADH/NADPH akan menghambat kompetitif (Bidwell, 1979).

Struktur anatomi organ terutama daun berpengaruh terhadap ANR. Pengaruh ini disebabkan struktur anatomi berhubungan dengan umur, pertukaran gas dan distribusi bahan dan hasil metabolisme. Devlin (1975) melaporkan bahwa pada organ yang tua, ANR berjalan lambat karena pemasukan nitrat terganggu dengan adanya penebalan dinding sel dan menurunnya kadar dan jumlah sitoplasma.

Faktor luar yang mempengaruhi ANR yaitu nutrisi, temperatur, kelembaban, cahaya, kecepatan angin, pH dan sebagainya. Menurut Hartiko (1983) mengatakan bahwa NR merupakan enzim yang aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. ANR mempunyai hubungan dengan jenis tumbuhan dan kondisi lingkungan sehingga bila digunakan sebagai parameter di dalam lingkungan akan memberikan hasil yang akurat, terlebih lagi ANR dikendalikan secara genetik (Hartiko, 1983).

Kandungan air yang optimal di dalam sel akan meningkatkan ANR, sedangkan tekanan air yang terlalu tinggi di dalam tanah akan menurunkan ANR karena penyerapan nitrat oleh akar menjadi berkurang (Morilla *et al.*, 1973 dalam Hartiko, 1983). Laju penyerapan nitrat sangat dipengaruhi oleh status air di dalam jaringan tanaman. Menurunnya laju penyerapan nitrat yang disebabkan rendahnya potensial air akan menyebabkan aliran nitrat berkurang dan akan menghambat sintesis nitrat reduktase, sehingga aktivitas nitrat reduktase menjadi rendah pula (Shaner dan Boyer, 1976 dalam Narwati 1996). Akumulasi nitrat yang berlebihan dapat menghambat aktivitas nitrat reduktase, karena memberikan efek toksis dan hambatan substrat (Duke dkk., 1986 dalam Narwati 1996).

D. Klorofil

Klorofil terdapat sebagai butir-butir hijau di dalam kloroplas. Pada tanaman tinggi ada dua macam klorofil, yaitu klorofil a : $C_{55}H_{72}O_5H_4Mg$ (berwarna hijau tua) dan klorofil b : $C_{55}H_{70}O_6H_4Mg$ (berwarna hijau muda). Klorofil itu fluoresen, artinya dapat menerima sinar dan mengembalikannya dalam gelombang yang berlainan. Klorofil a tampak hijau tua, tetapi jika sinar direfleksikan tampak merah darah. Klorofil b tampak merah coklat pada fluoresensi. Klorofil banyak meresap sinar merah dan nila. Klorofil tidak larut dalam air melainkan larut dalam etanol, metanol, eter, aseton, bensol dan kloroform (Dwidjoseputro, 1992).

Faktor-faktor yang berpengaruh pada pembentukan klorofil: (1) Faktor pembawaan, (2) Cahaya, (3) Oksigen (4) Karbohidrat, (5) N, Mg, Fe, (6) Mn, Cu, Zn, (7) Air dan (8) Temperatur. Kekurangan salah satu zat tersebut mengakibatkan klorosis tanaman. Kekurangan nitrogen mengakibatkan daun menjadi kekuning-kuningan dan pembentukan klorofil terganggu (Dwidjoseputro, 1992).

Menurut Hawab (1975) menyebutkan bahwa kandungan klorofil meningkat dengan bertambahnya umur tertentu kandungan klorofil akan maksimal dan kemudian berangsur-angsur menurun. Pada daun yang sudah menurun kandungan klorofilnya akan menyebabkan warna daun berubah menjadi kuning atau jingga.

E. Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai pembelahan dan pembesaran sel, tetapi definisi yang paling umum dipakai adalah penambahan berat kering, yang juga meliputi diferensiasi sel. Sedangkan perkembangan tanaman merupakan suatu kombinasi dari proses pertumbuhan dan diferensiasi yang mengarah pada akumulasi berat kering (Gardner, 1991).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan adalah faktor lingkungan (eksternal), meliputi iklim, cahaya, temperatur, angin dan gas (CO_2 , O_2 , N_2 , SO_2 , N, Cl), sedangkan faktor internal meliputi respirasi, klorofil, diferensiasi, aktivitas enzim, laju fotosintesa dan lain-

nya (Gardner, 1991). Selain itu pertumbuhan dan perkembangan tanaman juga dipengaruhi oleh ketersediaan unsur-unsur hara esensial yang diabsorpsi oleh akar dalam bentuk ion anorganik. Unsur hara ini meliputi unsur makro yaitu C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, dan unsur mikro yaitu Fe, Cl, B, Mn, Zn, Cu. Ketidakhadiran salah satu unsur tersebut mengakibatkan gejala defisiensi pada tanaman dan dapat menyebabkan kematian sebelum dewasa. Gejala apabila tanaman kekurangan salah satu unsur esensial itu antara lain : laju fotosintesa terhambat, laju respirasi di bawah normal, laju sintesa protein lambat, klorosis daun, pertumbuhan akar dan batang terhambat dan terjadi perubahan warna daun (Mursyanti, 1992). Parameter yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan tanaman antara lain berat kering, luas permukaan daun, N-total dan serat kasar.

E.1. Berat Kering

Berat kering adalah berat bahan kering yang tertinggal setelah airnya hilang dalam pengeringan. Karbon, hidrogen dan oksigen membentuk lebih dari 94% berat kering total, karena sebagian besar berat kering tersusun atas senyawa organik yang dihasilkan oleh fotosintesis bahan dasar CO_2 dan H_2O . Sebagian senyawa organik tersusun atas C, H dan O saja, misalnya pada selulosa yang menyusun kira-kira sepertiga dari berat kering bahan. Nitrogen merupakan penyusun segala macam protein, dan sebagai komponen utama bahan kering yang berasal dari bahan proto-

plasma tumbuhan (Loveless, 1991). Defisiensi nitrogen mengganggu proses pertumbuhan, menyebabkan tanaman kerdil, menguning dan berkurang berat keringnya (Gardner, 1991).

E.2. N - Total

Nitrogen merupakan salah satu elemen esensial yang diperlukan oleh tanaman untuk menyusun asam amino, protein, asam nukleat, basa organik, enzim dan klorofil (Bidwell, 1979., Fritz and Noggle, 1979). Sebagian besar tanaman menyerap unsur nitrogen dalam bentuk ion nitrat, ion amonium, senyawa organik seperti asam amino dan urea dari dalam tanah (Bidwell, 1979).

Protein merupakan kelompok nutrisi yang mengandung N, di samping C, H, O, S dan kadang-kadang P, Fe dan Cu. Sebagian selulosa yang dihasilkan tumbuhan digunakan untuk membentuk protein yang merupakan komponen utama dalam sel hidup. Fungsi protein terutama sebagai unsur pembentuk struktur sel untuk hidup dan tumbuh. Tumbuhan menggunakan protein untuk membentuk protoplasma baru, karena itu senyawa tersebut diperlukan dalam jumlah besar selama pertumbuhan (Tjitrosoma, 1987). Menurut Loveless (1991) dikatakan bahwa walaupun kenyataan ada ribuan macam protein yang sangat bervariasi dalam sifat dan fungsi biologisnya, semua protein itu selalu tersusun atas satuan kecil yang disebut asam amino.

Sintesa protein ditentukan oleh ketersediaannya ATP dan asam amino. Jika proses metabolik lainnya menghambat

persediaan senyawa-senyawa tersebut ke tempat protein, maka proses sintesa protein tersebut akan terhambat pula (Prawiranata, 1981). Atom C,H,O merupakan kira-kira 85% dari berat suatu asam amino, oleh karena itu penyusunan asam amino tidak akan mungkin jika tidak ada karbohidrat. Untuk menyusun asam amino nitrat direduksikan lebih dahulu. Penyusutan itu melalui hasil antara NO_2 dan kemudian timbullah NH_3 sebagai hasil akhir. Penyusutan nitrat erat hubungannya dengan hasil antara fotosintesis. Dari NH_3 dan hasil-hasil antara fotosintesis terbentuklah asam amino atau persenyawaan N organik. Dengan bertambahnya jumlah asam amino itu disertai dengan berkurangnya kadar karbohidrat di dalam tanaman (Dwidjoseputro, 1992).

E.3. Serat Kasar

Secara umum serat adalah benang-benang sel atau jaringan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan atau binatang. Serat kasar didefinisikan sebagai total fraksi bahan-bahan makanan yang tak dapat dicerna dengan enzim pencernaan protein dan pati. Serat kasar tersusun atas selulosa, hemiselulosa, lignin, glikoprotein dan senyawa lain yang belum teridentifikasi secara pasti (Anonim, 1991). Selulosa merupakan bagian terbesar dinding sel tumbuhan, karena itu selulosa merupakan bahan organik alam yang melimpah (Loveless, 1991). Hemiselulosa sebagai bahan penguat dinding sel dan sebagai cadangan makanan (Dwidjoseputro, 1992).